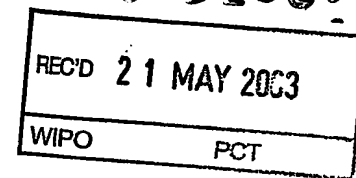


REC'D PCTO 05 OCT 2004  
10/510073



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 15 124.5

**Anmeldetag:** 5. April 2002

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

**Anmelder/Inhaber:** WME Gesellschaft für windkraftbetriebene Meer-  
wasserentsalzung mbH, Dranske/DE

**Bezeichnung:** Verdampferrohr für eine Meerwasserentsalzungs-  
anlage

**IPC:** C 22 C, C 02 F

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüng-  
lichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 2. Mai 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Zitzenzier



## Zusammenfassung

### Verdampferrohr für eine Meerwasserentsalzungsanlage

5

10

15

20

Die Erfindung betrifft ein Verdampferrohr für eine Meerwasserentsalzungsanlage, mittels welcher insbesondere in Gebieten mit geringen Süßwasserreserven Trink- bzw. Brauchwasser aus dem Meer gewonnen wird. Das erfindungsgemäße Verdampferrohr zeichnet sich dabei dadurch aus, daß es aus einem gegen Meerwasser beständigen und zugleich säurefesten Stahl ausgebildet ist, und daß es eine Wandstärke zwischen 0,1 mm und 0,5 mm aufweist. Das erfindungsgemäße Verdampferrohr läßt sich wirtschaftlich bereitstellen und einsetzen, und zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Korrosionsfestigkeit bei gutem Wärmedurchgang aufgrund der dünnen Wandung sowie durch eine gute Beständigkeit gegenüber niedrigen ph-Werten aus. Zudem kann eine Belagsbildung auf den Verdampferrohren zuverlässig verhindert werden. Es ist daher auch für einen wirtschaftlichen Betrieb in nicht kontinuierlich betriebenen Meerwasserentsalzungsanlagen wie z.B. windkraftgetriebenen Meerwasserentsalzungsanlagen geeignet.



## Beschreibung

### Verdampferrohr für eine Meerwasserentsalzungsanlage

Die Erfindung betrifft ein Verdampferrohr für eine Meerwasserentsalzungsanlage, mittels welcher insbesondere in Gebieten mit geringen Süßwasserreserven Trink- bzw. Brauchwasser aus dem Meer gewonnen wird.

In der Praxis haben sich verschiedene Verfahren zur Meerwasserentsalzung mittels Destillation durchgesetzt. Die hierfür eingesetzten, bekannten Anlagen sind: mehrstufige Entspannungsverdampfungs- oder multi-stage-flash-Anlagen (MSF), Multi-effect-Anlagen (ME), sowie mechanische und thermische Dampfverdichtungsanlagen (mechanical vapour compression (MVC), thermal vapour compression (TMC)). Bei all diesen Anlagen wird eine Mehrzahl von Verdampferrohren zum Verdampfen des Meerwassers sowie zur Rückgewinnung der Verdampfungsenergie eingesetzt, die typischerweise zu einem Verdampferrohrbündel von beispielsweise ca. 1000 Verdampferrohren zusammengefaßt sind. Dabei sind diese Verdampferrohre entweder stehend, wie bei Fallfilmverdampfern, oder auch liegend eingebaut.

Im Betrieb wird die Rohraußen- oder Rohrrinnenseite mit einem Meerwasserfilm beaufschlagt und der hierbei erzeugte Dampf zur anderen Rohrseite geführt, wo er unter etwas höherem Druck und daher auch bei höherer Temperatur kondensiert. Die dabei freigewordene Kondensationswärme wird durch die Rohrwandung hindurch auf die andere Rohrseite geleitet und führt dort zur Verdampfung einer entsprechenden Meerwassermenge aus dem Meerwasserfilm.

Aufgrund der Betriebsbedingungen müssen die Verdampferrohre in allen Anlagen sowohl gegen Meerwasser als auch gegen destilliertes Wasser beständig sein und dennoch einen guten Wärmedurchgang ermöglichen. In der Praxis haben sich bislang Verdampferrohre aus Aluminium-Legierungen sowie aus Legierungen mit Kupfer,



Nickel und Eisen (CuNiFe-Rohre) durchgesetzt. Beide Materialien zeichnen sich durch eine gute Wärmeleitfähigkeit aus. Dabei sind Aluminiumrohre billiger, wobei sie jedoch nur bei Temperaturen bis maximal 60 - 70 °C wirtschaftlich und dauerhaft eingesetzt werden können. Bei CuNiFe-Rohren kann dagegen durch einen höheren Nickelanteil  
5 eine verbesserte Meerwasserbeständigkeit auch bei höheren Temperaturen erzielt werden. Mit steigendem Nickelanteil wächst jedoch auch der Preis dieser Verdampferrohre, worunter die Wirtschaftlichkeit der Meerwasserentsalzungsanlage insgesamt leidet. Die derzeit verwendeten Verdampferrohre haben ferner üblicherweise eine Wandstärke von 2 mm, was sich zwar positiv auf die Standzeit der Rohre auswirkt, aber  
10 wegen der Vielzahl der benötigten Rohre auch das Gewicht der gesamten Meerwasserentsalzungsanlage in erheblichen Maße bestimmt. Dies erhöht den Logistikaufwand für den Aufbau derartiger Meerwasserentsalzungsanlagen insbesondere in abgelegenen Gebieten wesentlich.

15 Ferner sind die Anforderungen an die Korrosionsfestigkeit besonders hoch, wenn derartige Meerwasserentsalzungsanlagen bei unterschiedlichen, nicht konstanten Betriebsbedingungen betrieben werden. Wie die praktischen Erfahrungen mit Anlagen gemäß der DE 36 13 871 A1 gezeigt haben, unterliegen sowohl Aluminium- als auch CuNiFe-Rohre in windkraftgetriebenen Dampfverdichtungsanlagen zur Meerwasserent-  
20 salzung einem erheblich schnelleren Korrosionsangriff als in entsprechenden stationär betriebenen Anlagen, bei denen die Energiezufuhr konstant ist. Interessanterweise erwies sich der korrosive Angriff bei CuNiFe-Rohren auf der Destillatseite als erheblich stärker wie auf der Meerwasserseite.

25 Zudem ist bei windkraftgetriebenen Dampfverdichtungsanlagen zur Meerwasserentsalzung auch die Gefahr der Belagsbildung auf den Verdampferrohren wesentlich größer als bei stationär betriebenen Anlagen, wie die Praxis ergeben hat. Dies begründet sich offensichtlich darin, daß die Verdampferrohre bei Windflauten und Schwachwindphasen trocken laufen. Die als Gegenmaßnahme in der Regel eingesetzten handelsübli-  
30 chen Antiscalingmittel haben sich als nicht geeignet zur Lösung dieses Problems erwiesen, da sie die Belagsbildung nur unzureichend verzögern können. Eine wirksame Ver-



6  
hinderung von Kalkablagerungen ist derzeit nur durch ein Austreiben des Karbonats als Kohlendioxid mittels einer Säure vor der Verdampfung des Meerwassers möglich. Hieraus ergibt sich jedoch das weitere Problem, daß aufgrund von Fehlern in der Säuredosierung mit zu hoher Säurezugabe gerechnet werden muß, weshalb die Verdampferrohre auch bei niedrigen pH-Werten korrosionsfest sein müssen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verdampferrohr für eine Meerwasserentsalzungsanlage derart weiterzubilden, daß es die Nachteile im Stand der Technik überwindet und auch für einen Einsatz in nicht kontinuierlich betriebenen Meerwasserentsalzungsanlagen geeignet ist.

Diese Aufgabe wird durch ein Verdampferrohr mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. So ist es erfindungsgemäß erstmals vorgesehen, daß es aus einem gegen Meerwasser beständigen und zugleich säurefesten Stahl ausgebildet ist, und daß es eine Wandstärke zwischen 0,1 mm und 0,5 mm aufweist.

Insbesondere nimmt die Erfindung somit erstmals Abstand von dem bislang vorherrschenden Vorurteil, daß Stahl nicht als Material für Verdampferrohre in Meerwasserentsalzungsanlagen geeignet sei. So wurde bisher lediglich in Betracht gezogen, daß nur spezielle hochlegierte Stähle die erforderliche Korrosionsfestigkeit bei den in Meerwasserentsalzungsanlagen vorherrschenden Bedingungen aufweisen, wobei derartige Stähle üblicherweise eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit haben. Erfindungsgemäß wurde nun erkannt, daß es bei einer Verwendung eines derartigen Stahls jedoch möglich ist, die bislang vorgesehenen Wandstärken von wenigstens 2 mm deutlich zu reduzieren, ohne die Stabilität der Anordnung wesentlich zu beeinträchtigen. Damit wird der an sich gegebene Nachteil der geringeren Wärmeleitfähigkeit dieses Materials durch eine Verkürzung der Wärmeleitstrecke behoben. Zudem wurde im Zuge der Erfindung erkannt, daß der Wärmeübergang an den Oberflächen der Verdampferrohre auf den Dampf bzw. auf das Meerwasser eine wesentlich größere Rolle für die Wärmeübertragung vom Destillatdampf auf den Meerwasserfilm spielt als die Wärmeleitung durch die Rohrwandung.



7

Damit können nun für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Meerwasserentsalzungsanlage erfindungsgemäß erstmals auch Verdampferrohre aus Stahl eingesetzt werden, woraus sich zudem eine wesentlich höhere Korrosionsbeständigkeit ergibt, als dies bei den herkömmlichen Verdampferrohren der Fall war. Da derartige Stähle zudem stabiler gegenüber niedrigen pH-Werten sind, können sie auch vorteilhafterweise bei Anlagen eingesetzt werden, in welchen Säure vor dem Verdampfungsvorgang zum Meerwasser zugegeben wird, wodurch eine Belagsbildung auf den Verdampferrohren zuverlässig verhindert werden kann. Das erfindungsgemäße Verdampferrohr eignet sich somit auch besonders gut für windkraftgetriebene Meerwasserentsalzungsanlagen.

Von weiterem Vorteil ist, daß Rohre aus derartigen Stählen zu einem wettbewerbsfähigen Preis erhältlich sind. Hierbei ist die Wandstärke des erfindungsgemäßen Verdampferrohres aufgrund der erforderlichen mechanischen Stabilität auf wenigstens etwa 0,1 mm beschränkt. Derartige sehr dünne Rohre eignen sich insbesondere für Anlagen, bei denen im Rohrrinnenraum ein höherer Druck herrscht als auf der Außenseite, d. h. für Anlagen, bei denen das Destillat auf der Rohrinnenseite kondensiert.

Dabei ist es von weiterem Vorteil, daß sich das Gewicht des Verdampferrohres und somit auch des Bündels an Verdampferrohren in einer Meerwasserentsalzungsanlage aufgrund der erfindungsgemäß gering gewählten Wanddicke niedrig halten läßt.

Das erfindungsgemäße Verdampferrohr läßt sich somit wirtschaftlich bereitstellen und einsetzen, und zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Korrosionsfestigkeit bei gutem Wärmedurchgang aufgrund der dünnen Wandung aus.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

So kann das Verdampferrohr aus Stahl mit der Werkstoffnummer 1.4565S ausgebildet sein, was ein extrem meerwasserbeständiger Stahl ist. Dann erreichen auch sehr



dünne Verdampferrohre eine ausreichende Standzeit von vielen Jahren. Dieser Werkstoff hat sich in praktischen Versuchen sehr bewährt.

5 Ferner hat es sich für die üblichen Anwendungsfälle als am geeignetsten erwiesen, wenn die Wandstärke des Verdampferrohrs zwischen 0,2 mm und 0,3 mm liegt. Eine derartige Wandstärke stellt einen guten Kompromiß zwischen den funktionalen Erfordernissen und der Handhabbarkeit derartiger Verdampferrohre dar.

10 Von weiterem Vorteil ist es, wenn das Verdampferrohr aus einem Blech geformt und durch Verschweißen hergestellt ist, da es dann besonders preisgünstig bereitgestellt werden kann. Derartige Stahlbleche bzw. -bänder lassen sich mit geringem technologischen Aufwand in der gewünschten Weise verformen und so verschweißen, daß sich die Rohrgestalt herstellen läßt. Hierbei können insbesondere bei der Anwendung eines automatischen Laserschweißverfahrens hochwertige Schweißnähte erzeugt werden, die  
15 eine mit dem Rohr vergleichbare Korrosionsfestigkeit aufweisen, so daß die Verbindungsstelle keine Schwachstelle am erfindungsgemäßen Verdampferrohr darstellt. Das erfindungsgemäße Verdampferrohr läßt sich somit noch kostengünstiger bereitstellen.

20 Ferner kann ein Rohrende des Verdampferrohres mit einem aus der gleichen Stahlorte bestehenden Rohrboden verbunden sein. Dies hat den Vorteil, daß der zur Halterung und Führung der Verdampferrohre benötigte Rohrboden dann den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizient wie das Verdampferrohr aufweist, und daß kein unterschiedliches Korrosionspotential vorliegt, wie dies bei Verwendung von zwei unterschiedlichen metallischen Werkstoffen der Fall wäre, welche in der Spannungsreihe der  
25 Metalle ein unterschiedliches Normalpotential aufweisen würden. In praktischen Versuchen hat es sich als besonders vorteilhaft und wirtschaftlich erwiesen, wenn das Rohrende mit dem Rohrboden durch Verschweißen, vorzugsweise durch Laserschweißen, verbunden ist. Hierbei kann das Rohrende bei einer ausreichenden Wandstärke auch direkt mit dem Rohrboden verschweißt werden. Dabei ist ferner zu berücksichtigen, daß  
30 der Rohrboden an den Enden der Verdampferrohre nicht nur der Halterung dient, sondern daß durch diesen Rohrboden bzw. mehrerer dieser Rohrböden auch Räume für



9

das verdampfende Meerwasser und das kondensierte Destillat voneinander getrennt werden. Hierzu sind herkömmlich Kunststoff- oder Gummidichtungen zwischen einem Verdampferrohr und der Aussparung im Rohrboden erforderlich, welche aufgrund der erfindungsgemäß vorgesehenen Verschweißung dieser Komponenten entfallen können.

5 Zudem hat sich in praktischen Versuchen gezeigt, daß eine derartige Verschweißung eine bessere und zuverlässigere Trennung der Bereiche für Meerwasser und Destillat herstellt, als dies durch Dichtungen der Fall war. So kann die Störanfälligkeit auf diese Weise wesentlich herabgesetzt werden. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß durch den Wegfall der Vielzahl an benötigten Dichtungen entsprechend der Anzahl an Ver-  
10 dampferrohren in der Meerwasserentsalzungsanlage auch ein erheblicher Preisvorteil erzielbar ist.

Von weiterem Vorteil ist es, wenn der Querschnitt des Verdampferrohrs von einer Kreisform abweicht. Mit anderen Worten können die Schnittlinien bei einem zur Rohr-  
15 achse senkrechten oder schrägen Schnitt zumindest stellenweise von der Kreisform bzw. einer Ellipsenform abweichen, wobei dies durch Verformung der Rohre, z. B. durch Einprägung von umlaufenden Wendeln erfolgen kann. Hierdurch werden im Fallfilm zusätzlich Turbulenzen erzeugt, wodurch sich der Wärmeübergang verbessern läßt. Eine weitere Verbesserung des Wärmeübergangs resultiert zudem aus der mit der Verfor-  
20 mung verbundenen Vergrößerung der Oberfläche der Rohrwandung. Durch derartige Verformungen des Verdampferrohrs kann der Fallfilm zudem aus der durch die Schwerkraft bedingten Richtung abgelenkt werden, was ein Abreißen des Flüssigkeitsfilms erschwert und die Gefahr einer Ausbildung trockener, vom Fallfilm nicht benetzter Stellen vermindert. Auf diese Weise läßt sich der Wirkungsgrad einer  
25 Meerwasserentsalzungsanlage erhöhen und zudem ist auch die Gefahr der Ausbildung von Ablagerungen auf der Wandung eines Verdampferrohres reduziert. Hierbei wird die Verformung der Rohrwandung vorzugsweise so durchgeführt, daß die Montage der Verdampferrohre und ihre Verbindung mit dem Rohrboden nicht erschwert wird. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn der Rohrdurchmesser im verformten Bereich nirgends  
30 größer ist, als der Durchmesser des nicht verformten Rohres, und/oder wenn die zur Verbindung mit den Rohrböden vorgesehenen Bereiche nicht verformt werden.





10

Das erfindungsgemäße Verdampferrohr läßt sich somit in hervorragender Weise in den bekannten Meerwasserentsalzungsanlagen anwenden und gegebenenfalls auch nachrüsten. Ferner trägt es dazu bei, um den Wirkungsgrad, Zuverlässigkeit und Dauerhaftigkeit einer derartigen Meerwasserentsalzungsanlage wesentlich zu verbessern.

Die Erfindung läßt neben der aufgezeigten Ausführungsform weitere Gestaltungsansätze zu.

10 So kann anstelle des Stahls mit Werkstoffnummer 1.4565S auch ein anderer Stahl mit ähnlichen Eigenschaften angewendet werden. Beispiele hierfür sind austenitische rostfreie Stähle wie die sog. 6% Mo-Stähle, zu denen AL-6XN, 1925 hMo, 25-6Mo, 254 SMO, 20Mo-6, SB8, YUS 170, 2419 MoN, B66, 3127 hMo, 654 SMO u.a. zählen. Überdies kann auch Titan oder eine Titanlegierung als Werkstoff für das Verdampferrohr verwendet werden.

15 Ferner kann das Verdampferrohr auch durch Strangpressen oder dgl. hergestellt werden.

20



### Ansprüche

1. Verdampferrohr für eine Meerwasserentsalzungsanlage, dadurch gekennzeichnet,  
5 daß es aus einem gegen Meerwasser beständigen und zugleich säurefesten Stahl  
ausgebildet ist, und daß es eine Wandstärke zwischen 0,1 mm und 0,5 mm  
aufweist.
2. Verdampferrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es aus Stahl mit  
10 der Werkstoffnummer 1.4565S ausgebildet ist.
3. Verdampferrohr nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß es eine  
Wandstärke zwischen 0,2 mm und 0,3 mm aufweist.
- 15 4. Verdampferrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß  
es aus einem Blech geformt und durch Verschweißen hergestellt ist.
5. Verdampferrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß  
20 ein Rohrende des Verdampferrohrs mit einem aus der gleichen Stahlsorte  
bestehenden Rohrboden, insbesondere durch Verschweißen, verbunden ist.
6. Verdampferrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß  
25 der Querschnitt des Verdampferrohrs von einer Kreisform abweicht.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**